IV - MAINTENANCE: LUBRIFICATION ET PROTECTION

* 1°) Lubrification des roulements.

(voir aussi "FONCTION LUBRIFICATION" Fasc.1)

1.1.) Nécessité-Buts recherchés: Théoriquement, si l'on utilise le phénomène de roulement sans glissement, toute lubrification est inutile, voire contre-indiquée: non validité de la théorie de HERTZ,p.5) introduction de résistances passives dues à la viscosité du lubrifiant .....

Pratiquement:Le frottement ne peut être complétement éliminé, soit qu'il subsiste de manière fonctionnelle entre chemins de roulement et éléments roulants dans certains types: roulements à contacts obliques, roulements à rouleaux-tonneaux, butées à aiguilles... soit qu'il existe de manière inévitable entre cage et éléments roulants, on est donc en fait contraint de lubrifier pour les raisons suivantes:

1 ⟶ réduction du frottement interne au roulement ou à la butée.
2 ⟶ plus grande facilité du glissement des bagues libres pour leur mise en place automatique dans le logement ou sur l'arbre le long de l'axe.
3 ⟶ plus grandes facilités de montage.
4 ⟶ protection des éléments contre l'oxydation (les aciers au chrome ne sont pas pour autant inoxydables) et contre les agents extérieurs (poussières par exemple.)
5 ⟶ possibilité d'utiliser le lubrifiant pour évacuer la chaleur (il agit alors comme agent réfrigérant)
6 ⟶ amélioration des performances dans certains cas : augmentation des charges par augmentation des pressions locales grâce à l'interposition d'un film - nécessité fonctionnelle - cas des roulements et butées à aiguilles.CAT SKF p.41.

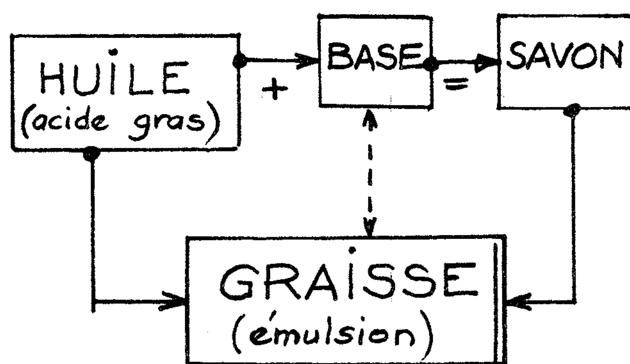
(D'une façon générale les billes demandent moins de soin au point de vue lubrification, que les rouleaux)

1.2.) Choix du lubrifiant :

On utilise essentiellement des huiles minérales ou des graisses chimiquement NEUTRES.

La température de fonctionnement est déterminante pour le choix du lubrifiant, car elle conditionne sa viscosité.

1.2.1.) Emploi des graisses-



Une graisse est une émulsion d'un SAVON obtenu par la combinaison d'une huile minérale (ACIDE gras) avec une BASE, dans l'huile restante selon le schéma ci-contre.

La consistance plus ou moins grande de la graisse est obtenue en faisant varier les proportions respectives de savon et d'huile. Selon la base choisie (soude, potasse, chaux, lithine, plomb ...) les propriétés de la graisse sont très différentes.
(cf DOC : FONCTION LUBRIFICATION- 3)

/ graisses CALCIQUES { Conditions peu difficiles. Conviennent en cas de présence d'eau $-30°C \leqslant \theta \leqslant +50°C$. Se décompose au delà de 60°C-SKF-1"

/ graisses SODO-POTASSIQUES { de -30 à + 70°C. Consistance ferme et souple s'opposant bien à l'entrée des poussières.Absorbe l'humidité sans excés."SKF 28"

/ graisses SODIQUES { pour températures"élevées"de 0 à 100°C très antioxydante convient même en présence d'eau. "SKF 49"

/ graisses LITHIQUES { pour"basses" températures de -60° à + 70°C . Lubrification de petits roulements tournant à grande vitesse "SKF 63"

Avantages et inconvénients de la lubrification à la graisse.

AV: Stockage aisé d'un lubrifiant facile à retenir. Arrête efficacement les agents extérieurs, notamment les poussières. Pas d'installation couteuse, on peut prévoir dans certains cas un graissage"à vie". Protection efficace du roulement contre l'oxydation en cas de présence d'eau (sauf pour les graisses au lithium)

INC: La graisse ne peut être utilisée comme agent de réfrigération; elle perd sa consistance à chaud et peut s'écouler hors du palier. Elle ne permet donc pas des températures ou des vitesses de rotation trop élevées: 70 à 80 % seulement des vitesses limites autorisées par l'huile.

De ce fait une trop grande quantité de graisse dans le palier provoque une élévation de température néfaste aux vitesses de rotation élevée. En règle générale on admet que le volume de graisse nécessaire doit correspondre à celui du roulement augmenté du tiers à la moitié du volume libre laissé par le palier.

1.2.2.) Emploi de l'huile

Seules des huiles minérales raffinées conviennent à la lubrification des roulements. Leur choix est surtout fonction de leur viscosité qui doit être adaptée à la température prévue ou constatée.

A des vitesses modérées et dans des conditions normales de fonctionnement la viscosité à peu d'importance. Par contre aux vitesses élevées le choix doit être fait avec soin et la viscosité à la température de fonctionnement ne doit pas dépasser 12cSt environ. Comme la viscosité augmente les résistances passives et par conséquent le dégagement de chaleur, la viscosité à la température de référence de 50°C doit augmenter avec la température fonctionnelle. (cf Fonction LUB.3 -)

Avantages et inconvénients de la lubrification à l'huile.

Av.: l'huile convient pour toutes charges et vitesses surtout si celles-ci sont élevées. Permet de dépasser les températures permises par les graisses : on peut ainsi aller jusqu'à 150°C avec des huiles résistant à la chaleur et ayant une viscosité élevée. L'huile peut être utilisée comme agent de réfrigération si on lui assure une circulation forcée: Convient pour les roulements de grandes dimensions.

Inc.: Hormis le cas du barbottage, l'installation de lubrification est plus complexe qu'avec de la graisse, notamment si on utilise un dispositif de " brouillard d'huile". L'étanchéité doit être plus soignée, notamment en ce qui concerne la protection contre les poussières. L'huile se décomposant sous l'action de l'eau ne constitue pas une protection efficace du roulement contre l'oxydation si une défectuosité du dispositif d'étanchéité survient.

Comme pour les graisses, un excédent d'huile conduit à une élévation de température, une réduction de la viscosité; une émulsion huile-air (mousse) se produit dont les propriétés thermo-isolantes aggravent encore le phénomène. Il est donc nécessaire que dans un bain ordinaire le niveau d'huile reste toujours en dessous du centre de l'élément roulant placé le plus bas. L'emploi du brouillard d'huile résoud élégamment tous ces problèmes, mais est couteux.

★ 2°) Protection des roulements

Conjointement à la lubrification des roulements, il est nécessaire d'assurer par ailleurs une double fonction:
- empêcher les fuites du lubrifiant vers l'extérieur et
- empêcher la pénétration des agents extérieurs notamment des poussières et de l'humidité.

Les solutions apportées à ces exigences dépendent du type de lubrifiant et des vitesses de rotation par exemple:

- Roulements lubrifiés à la GRAISSE:

→ Protecteurs ou lanières de feutre (simple ou multiple) logées dans des évidements trapézoïdaux. Solution simple et efficace en milieu poussiéreux ou soumis aux intempéries. Emploi limité aux vitesses faibles ou modérées à cause du frottement sur l'arbre.

→ Collerettes formant chicanes : même emploi mais pour les vitesses plus élevées conduisant à un risque de destruction des feutres.L'espace compris entre les faces des chicanes est rempli de graisse ce qui constitue un facteur supplémentaire de protection.

→ Gorges jouant le même rôle (petit matériel). Rondelles d'étanchéité.

- Roulements lubrifiés à l'HUILE:

→ Les solutions précédentes restant applicables en cas de poussières.

→ Collerettes pare-huile à action centrifuge si les impuretés extérieures ne sont pas à craindre.(Bagues dites de projection)

→ Bagues d'étanchéité à simple ou double lèvre genre SIMRIT ou PAULSTRA. Convient pour vitesses et pressions modérés (<1 Bar). Très efficace et de montage aisé. Le milieu doit être propre si possible. La lèvre est orientée du côté de l'élément à étancher en priorité : vers l'intérieur si le principal problème est de retenir le lubrifiant et dans un milieu propre, vers l'extérieur s'il s'agit d'empêcher l'entrée d'éléments contaminants.Dans le cas où les deux étanchéités doivent être réalisées il faut utiliser un joint à double lèvre. Si le milieu est très souillé il est recommandé de mettre en place un déflecteur extérieur destiné à protéger la portée du joint d'une usure trop rapide et le joint lui même d'une détérioration prématurée.

Dans le même ordre d'idées la dureté et l'état de surface des portées doivent être convenables.En règle générale on admet une dureté minimale de 30 HRc et d'une rugosité Ra comprise entre 25 et 75 µm. Toute rainure hélicoïdale favorise le pompage du lubrifiant, lacère la lèvre. Inversement un poli trop poussé empêche l'établissement d'un film de lubrifiant entre cette lèvre et l'arbre, qui est indis-

pensable à un fonctionnement sans usure prématurée. On ne doit donc à aucun prix empêcher le lubrifiant d'accéder à la manchette.

Les fournisseurs recommandent également des tolérances de montage des bagues dans leur logement (H6 ou H8) et sur l'arbre : (h 10 ou h 11)

Enfin les constructeurs peuvent livrer des roulements à 1 ou 2 flasques ou déflecteurs travaillant sans contact mais à étanchéité limitée et des roulements à un ou deux joints avec contact; les roulements à deux déflecteurs ou joints sont livrés graissés " à vie ". Cette solution est plus couteuse mais intéressante lorsque la place est limitée.

V- MONTAGE DES ROULEMENTS

* 1° Mise en place et dépose 1.1.)

Le problème de la mise en place ne se pose que surtout dans le cas où la bague doit être montée serrée sur l'arbre ou dans le logement. On procède alors à l'aide d'une masse ou d'une presse en agissant directement sur la bague serrée par l'intermédiaire d'un jet en bronze (tubulaire) de manière à ce qu'en aucun cas les éléments roulants ne supportent l'effort de montage. A partir d'une certaine dimension on chauffe le roulement dans un bain d'huile (70 à 100°C) pour le placer sur l'arbre. Pour serrer les écrous on se sert d'un matoir en bronze ou mieux d'une clé à ergot ou clé-pélican. On utilise également des douilles de frappe, surtout pour la mise en place des manchons côniques. En toutes circonstances, une presse ou un chauffage évitent les chocs sur les bagues qui risquent de les endommager.

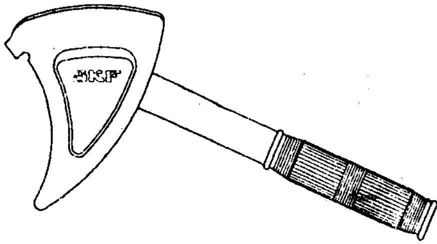
Pour des roulements de grande dimension (d$\geqslant$90mm) on peut se servir d'un écrou hydraulique ou de canaux et de gorges prévus à la construction pour acheminer de l'huile sous haute pression au niveau des surfaces d'ajustement (portée cônique)

1.2.)

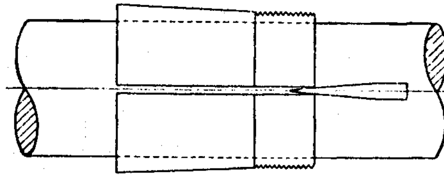
Dans le cas de la dépose, si les roulements sont destinés a être réutilisés il est indispensable, tout comme à la mise en place, que les éléments roulants ne supportent pas l'effort de démontage.

Montage et démontage - 1

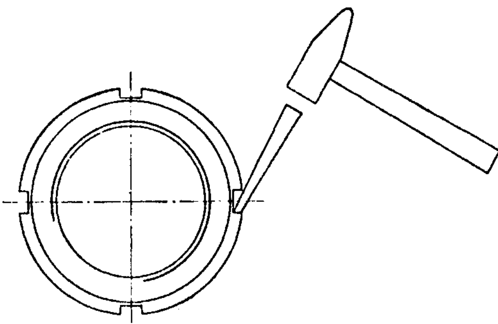
Outils de montage et de démontage



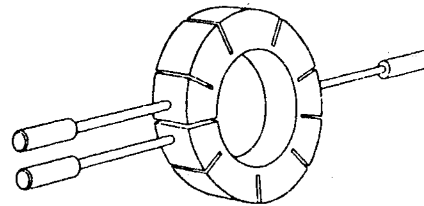
Clé pélican



Mise en place sur l'arbre d'un manchon de serrage

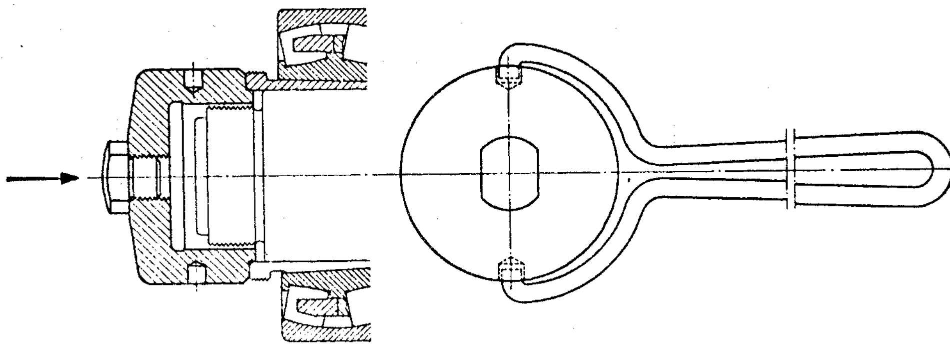


Blocage d'un écrou de serrage



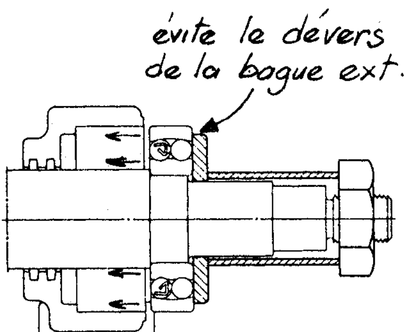
douille de chauffage

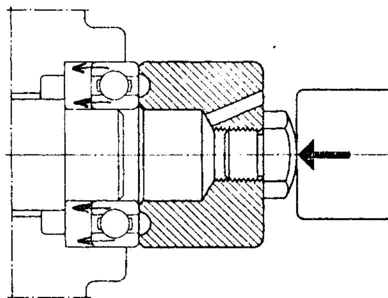
montage

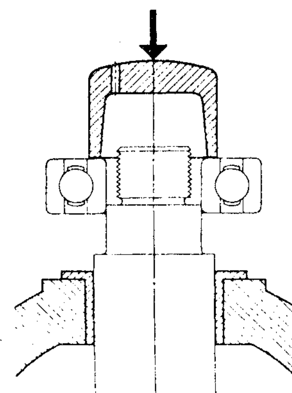


Douille de montage

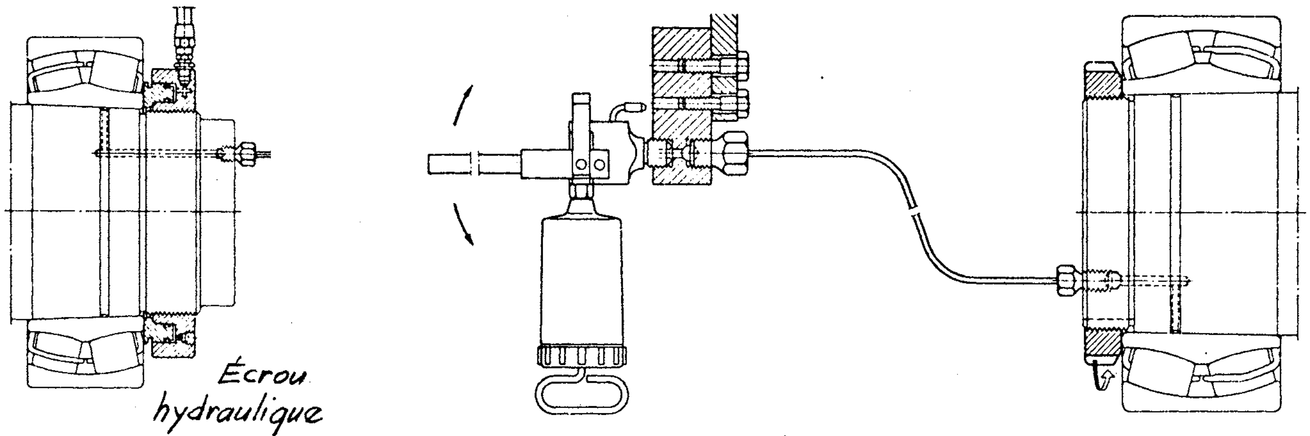
évite le dévers de la bague ext.



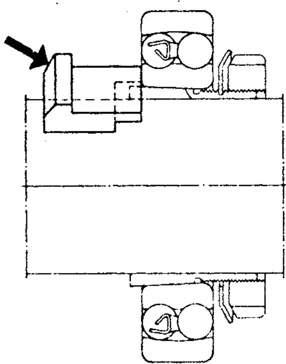


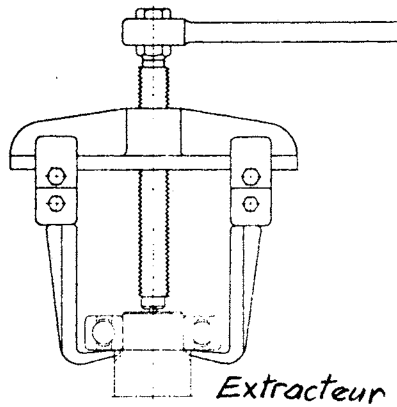


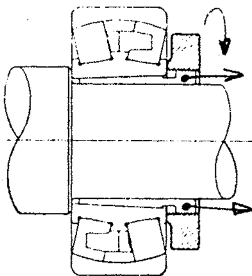
Montage et démontage. 2

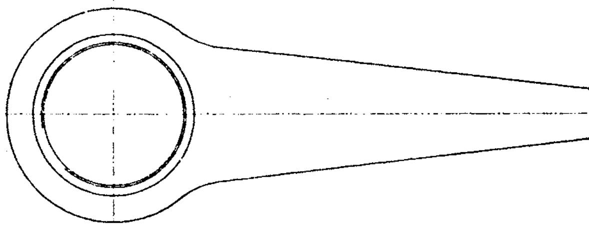


démontage

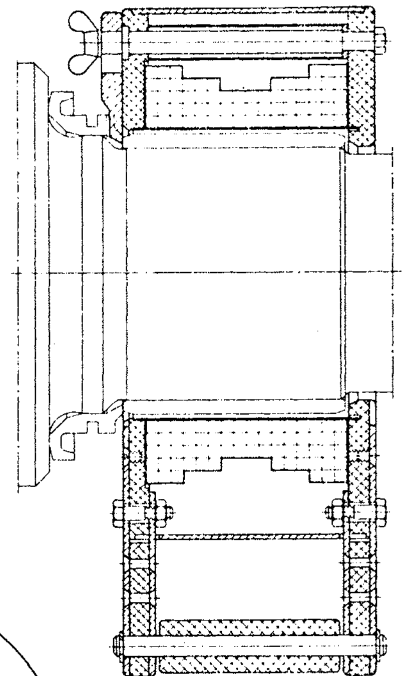


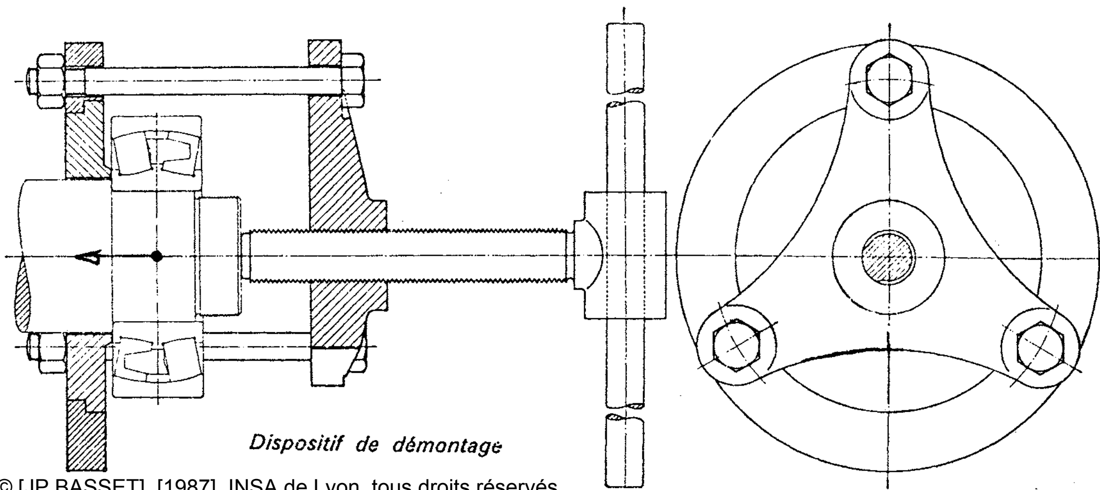






Clé de démontage





Dispositif de démontage

Pour extraire une bague serrée on peut utiliser divers procédés:

. Roulements à alésage cylindrique:

-de petites dimensions: chocs répartis à l'aided'un jet en bronze ou mieux utilisation d'un extracteur. Des encoches ménagées dans l'épaulement de l'arbre facilitent l'opération.

-de grandes dimensions : dispositif à pression d'huile ou par chauffage à induction. Pour d<400 mm on peut se contenter d'une douille chauffée à la flamme.

. Roulements à alésage cônique : clés de démontage-dispositif à pression d'huile, écrou hydraulique, clavettes de démontage.

★ 2°) Fixation axiale

Un ajustement serré est généralement insuffisant pour assurer la fixation axiale d'un roulement, à moins qu'il ne s'agisse que d'empêcher un éventuel glissement en l'absence de tout effort axial.

Il est donc nécessaire de prévoir la plupart du temps des dispositifs d'arrêt axial.

Les principales solutions habituellement retenues sont les suivantes:

- épaulement de l'arbre ou du logement
- entretoise tubulaire
- segment d'arrêt genre Circlips ou Truarc
- écrou à encoches avec rondelle à ailettes type KM & MB
- chapeau de protection formant épaulement
- manchons côniques fendus
- roulements rigides à une rangée de billes à rainure sur bague extérieure pour segment d'arrêt.

★ 3°) Choix des jeux et des serrages à prévoir.

. 31 - Axialement on ne peut avoir accès au jeu du montage qu'avec des roulements à une rangée de billes à contacts obliques ou avec des roulements à rouleaux coniques.

DOC : Jeu axial pour roulements à rouleaux coniques (rotation aisée)

cf.page 15 { 0,05 à 0,1mm pour petits diamètres
0,2 à 0,25 mm pour gros diamètres }

Dans le cas de précharge (automobile par exemple) couple résistant dû au serrage, de l'ordre de 0,1 à 0,4 m daN.

Pour les autres cas, le jeu est celui du roulement qui fixe la position axiale de la rotoïde (sauf si cette position

est dépendante d'un roulement pour chaque sens)

. 32-Radialement: on peut créer selon les cas un jeu ou un serrage par le choix convenable de l'ajustement des bagues : intérieure sur l'arbre, extérieure dans le logement. Ce choix est aussi capital pour la durée du roulement que celui de ses dimensions.

Mais, dans tous les cas, les tolérances de dimensions des roulements étant fixées par les normes, l'ajustement voulu ne peut être obtenu qu'en choisissant la position et la qualité de la tolérance de l'arbre et du logement.

Les paramètres influant sur le choix de l'ajustement à prévoir sont les suivants :

a) Conditions de rotation: influence de la direction de la charge.

On considère par rapport à une bague (intérieure ou extérieure) trois cas de charge possible :

cas $\alpha \rightarrow$ charge dite " tournante " lorsque la direction de la charge est mobile par rapport à la bague considérée prise comme référentiel fixe.

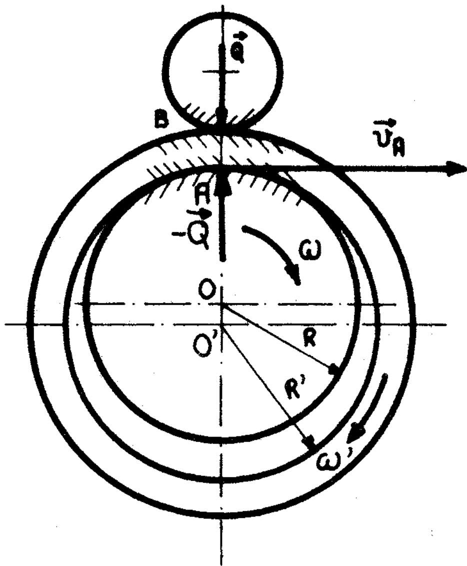
cas $\beta \rightarrow$ charge dite "fixe" lorsque la direction de la charge est immobile par rapport à la bague considérée prise comme référentiel fixe.

cas $\gamma \rightarrow$ charge dite " de direction indéterminée", lorsque l'arbre est vertical et les charges radiales mal connues ou bien lorsque des chocs, vibrations, balourds créèent à vitesse élevée des changements imprévisibles de direction, sans qu'il soit possible d'en connaître l'importance.

Dans le cas d'une bague montée avec un ajustement libre et qui supporte une charge tournante il se produit un phénomène dit de " laminage" ou "roulage" qui provoque une usure rapide de la bague et du support.

Par exemple : dans le cas d'une charge tournante par rapport à la bague intérieure, s'il existe au départ un jeu entre l'alésage (2R') de cette bague et la portée (2R) de l'arbre, la bague se comporte comme une "tôle" qui serait laminée entre deux "rouleaux" constitués d'une part par l'arbre, d'autre part par l'élément roulant situé au droit de la charge. Elle se trouve entrainée en rotation par rapport à l'arbre à une vitesse différentielle $\Delta\omega$ telle que, si l'on admet qu'il n'y a pas de glissement entre eux l'on ait en A

$v = R.\omega = R'.\omega'$, $R' \gtrsim R \Rightarrow \omega \gtrsim \omega'$ } donc $\Delta\omega = \omega - \omega'$ valant une fraction de tour par minute.



Chaque point de la bague est affecté successivement par ce phénomène qui produit à la fois une usure car le jeu est si faible qu'aucun film d'huile ne peut s'y former et un allongement de la bague.

Cet allongement et cette usure augmentant R' et diminuant R ont tendance à accélérer le phénomène qui devient rapidement critique.

Une réflexion identique peut être menée à propos de la bague extérieure si celle-ci est libre sous charge tournante.

Pour pallier à cet inconvénient, il faut donc dès le montage annuler $\Delta R = R' - R$ donc pratiquement installer un SERRAGE qui fournit une déformation élastique initiale supérieure aux déformations pratiques sous charge: on réalise ainsi une précontrainte.

En conclusion on observe donc la règle suivante:

REGLE I

- cas α : La charge étant tournante par rapport à la bague considérée, celle-ci est montée serrée sur son arbre ou dans son logement.
- cas β : La charge étant fixe par rapport à l'autre bague, celle-ci est montée glissante dans son logement ou sur son arbre pour faciliter la mise en place et le déplacement axial si nécessaire.
- cas γ : La charge étant de direction indéterminée par rapport aux deux bagues, elles seront montées, toutes deux serrées, la plus "libre" étant éventuellement la bague extérieure. Pour éviter un "coincement" du roulement placé entre elles il faudra le choisir avec un jeu interne assez grand: jeu augmenté classes C3,C4 ou C5

b) Influence de la nature et de l'intensité de la charge.

Dans un ajustement donné le serrage réel diminue à mesure que la charge appliquée augmente (compression radiale de la matière, lissage de surface).

A la limite, le roulage peut apparaître, si la charge est tournante.

REGLE II L'ajustement doit être d'autant plus serré que l'intensité de la charge est plus élevée et s'accompagne de chocs (cas des charges voisines de la capacité de base dynamique du roulement).

c) Influence de la température.

Les bagues étant portées en fonctionnement à des températures souvent supérieures à celles de l'arbre ou du logement, le serrage peut se trouver réduit pour la bague intérieure, augmenté pour la bague extérieure.

REGLE III

Par conséquent, à température élevée prévoir un serrage augmenté sur la bague intérieure, réduit sur la bague extérieure. En aucun cas le déplacement axial de la bague "libre" ne doit être entravé.

d) Influence de la précision des portées

REGLE IV

Si l'on est tenu à une stricte précision de guidage il faut éviter les ajustements libres et veiller à l'exactitude des portées (écarts, faux rond, cônicité, qui se transmettent aux bagues) qualité 5 au moins pour l'arbre, 6 au moins pour le logement.

e) Influence de la conception et du matériau

REGLE V

- Un logement en deux pièces ne doit pas conduire à un serrage de la bague extérieure: s'en tenir aux positions de tolérance H ou J.

- Un logement à paroi mince, ou en alliage léger, un arbre creux, réduisent le serrage pour un même type d'ajustement. On choisira alors un ajustement plus serré que celui strictement nécessaire pour un logement à paroi épaisse, ou en acier ou en fonte, un arbre plein.

f) Influence du montage et du démontage.

REGLE VI

Lorsqu'il est souhaitable que les opérations de montage et de démontage soient réalisables facilement et rapidement, il est intéressant de prévoir des ajustements libres ou moins serrés. Si les conditions fonctionnelles imposent cependant un ajustement serré on peut prévoir d'utiliser des roulements de type ouvert ou des roulements à alésage cônique avec manchons

Les roulements à alésage conique facilitent d'une façon générale les opérations de mise en place et de dépose. De plus ils n'exigent que des tolérances larges sur l'arbre au droit du manchon : h9 ou h10; les conditions de rotations sont ici sans importance.

d'où les ajustements recommandés: Doc.ROULEMENTS p.10 et CATALOGUES.

Des valeurs particulières sont données pour: le montage des butées (j6 ou k6) pour la plaque solidaire de l'arbre)

: Les roulements à aiguilles.

* 4) Principes généraux de montage

.41 - Premier principe : GUIDAGE RADIAL

Le guidage en rotation d'un ensemble nécessite normalement deux roulements et deux seulement placés à une certaine distance l'un de l'autre: ces roulements sont du type radial ou du type combiné (mixte)

En principe on doit se limiter à deux roulements pour les arbres courts ou moyens afin d'obtenir une répartition très précise de la charge et de pouvoir ainsi choisir les roulements de façon convenable. L'usinage des logements ou alignement est alors relativement facile.

Exceptionnellement : on n'utilise qu'un seul roulement rigide que pour des dispositifs où les efforts sont faibles, surtout axialement et ne donnant pas lieu à des couples de déversement et où l'encombrement doit être strictement limité. Une amélioration possible consiste à utiliser un seul roulement rigide à deux rangées de billes si possible à contacts obliques. (On retombe alors implicitement au cas de 2 roulements).

On utilise plus de deux roulements lorsque l'arbre est long ou lorsque l'on désire éviter des déformations de flexion (réducteurs à haut rendement, broches de machines-outils). Le système est alors hyperstatique et conduit à un usinage plus délicat des logements pour aligner le mieux possible les axes. Les charges sur les roulements sont alors très dépendantes des conditions de réalisation et des propriétés élastiques de l'arbre. La réalisation est plus coûteuse en général.

. 42 - Deuxième principe : GUIDAGE (OU ARRET) AXIAL

Tout élément de machine monté sur roulements doit être maintenu axialement, car la partie fixe et la partie mobile ne doivent pas se déplacer l'une par rapport à l'autre à moins qu'un tel déplacement ne soit une des fonctions de la machine. Les forces qui tendent au déplacement axial peuvent être faibles et de nature fortuite ou assez importantes. Comme la plupart des types de roulements sont capables de supporter une certaine poussée axiale, on ne recourt aux butées que dans le cas de poussées plus importantes qui exigeraient un roulement de dimensions excessives, ou pour des raisons particulières.

421: Cas général

Un roulement et un seul assure le positionnement axial de la partie tournante dans les deux sens.

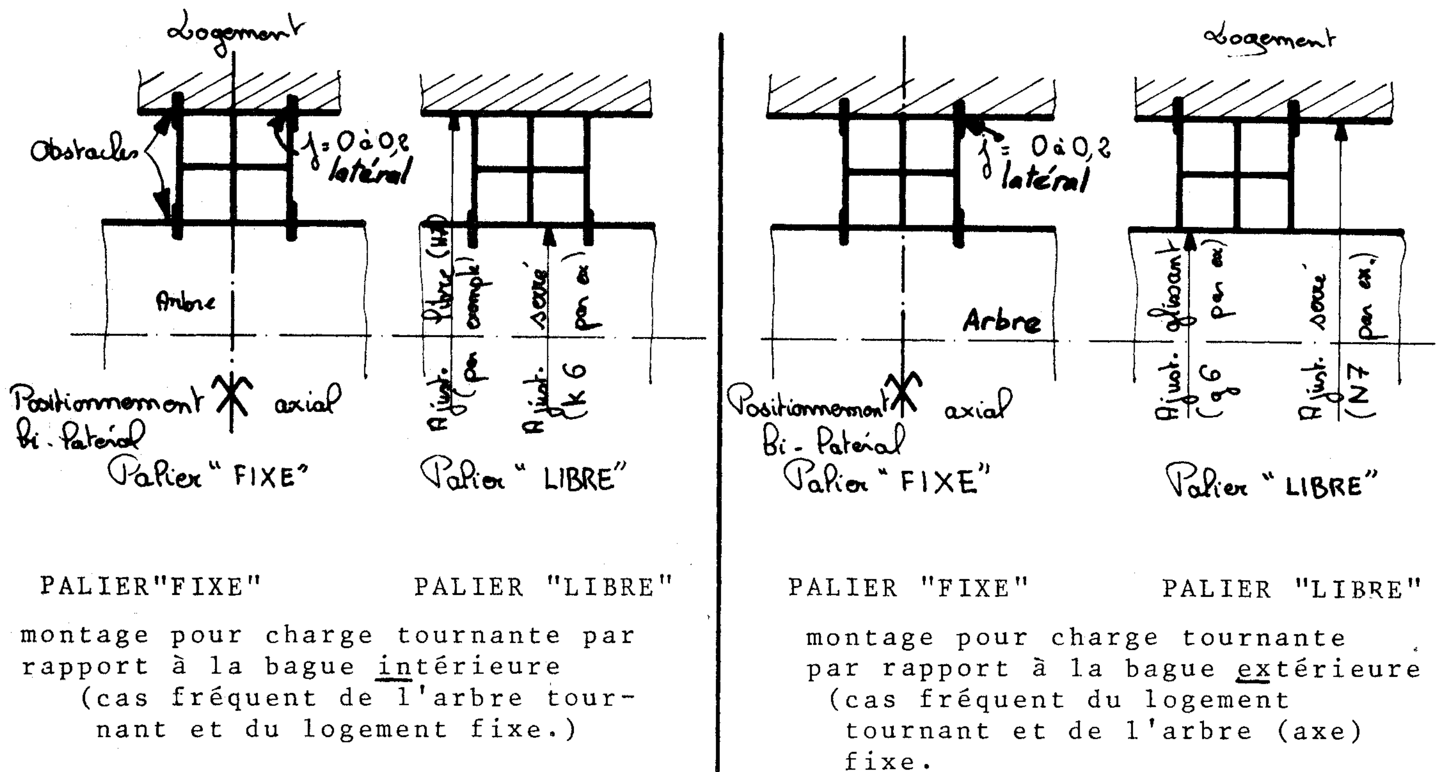
Ce roulement est dit "FIXE" (axialement sous-entendu) et ses deux bagues doivent être liées:

- la bague intérieure à l'arbre dans les deux sens axiaux
- la bague exterieure au logement dans les deux sens axiaux

L'autre (ou les autres) roulement(s) est (sont) dit (s) "LIBRE(S)"

Pour éviter le cheminement il est nécessaire de lier au moins une des deux bagues l'autre se plaçant automatiquement en face de la première. Il est donc logique de fixer axialement la bague qui doit être montée SERREE parceque tournante par rapport à la charge (phénomène de laminage ou roulage), et de laisser coulisser la bague montée plus libre.

d'où les deux cas de figure possibles :



PALIER "FIXE" PALIER "LIBRE"

montage pour charge tournante par rapport à la bague intérieure (cas fréquent de l'arbre tournant et du logement fixe.)

PALIER "FIXE" PALIER "LIBRE"

montage pour charge tournante par rapport à la bague extérieure (cas fréquent du logement tournant et de l'arbre (axe) fixe.

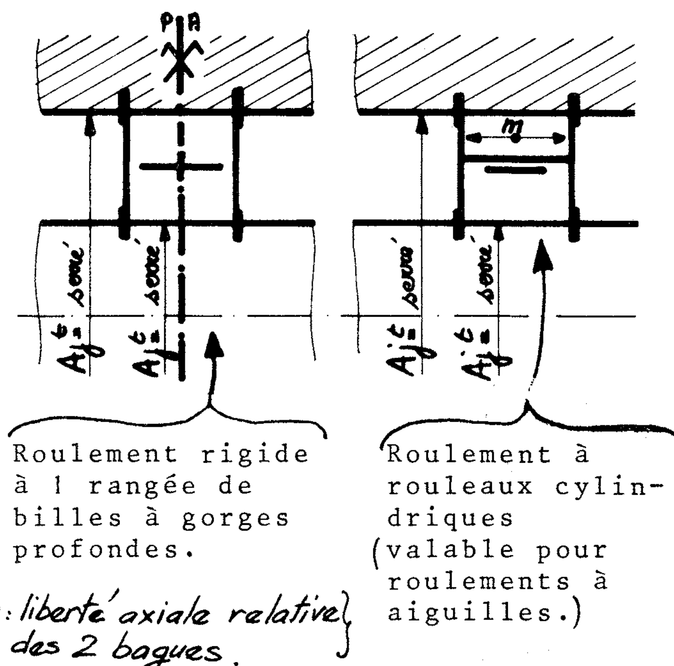
DOC : Le jeu axial sur les bagues du roulement "fixe" est de l'ordre de 0 à 0,2 mm entre faces et obstacles, tandis que le roulement "libre" est monté avec une marge axiale de plusieurs millimètres au moins.

En suivant ce principe on évite les efforts anormaux sur les roulements qui pourraient résulter d'imperfections d'usinage et de montage ou de la dilatation longitudinale de l'arbre qui est en général porté à une température nettement plus élevée que le reste de la construction (bâti par exemple).

422- Cas Particuliers

4221 - Charge tournante simultanément par rapport aux deux bagues.

Il faut alors monter serrées les deux bagues de chaque roulement. Pour faciliter le montage on peut alors utiliser avec fruit un roulement de type ouvert (séparable) pour le palier "libre". Il est alors possible et nécessaire d'arrêter toutes les bagues par huit obstacles.



Roulement rigide à 1 rangée de billes à gorges profondes.

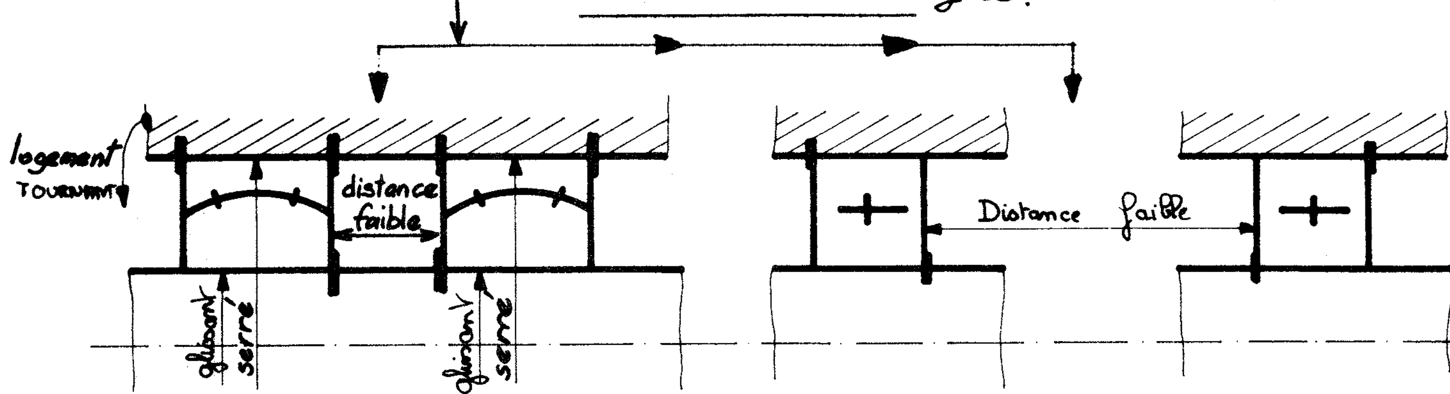
Roulement à rouleaux cylindriques (valable pour roulements à aiguilles.)

{m : liberté axiale relative des 2 bagues.}

4221.

Dans certains cas on peut, pour simplifier le montage et lorsque:
- les charges axiales sont faibles.
- les roulements rapprochés.
- il n'y a pas à craindre de dilatation différentielle trop importante entre l'arbre et les logements,

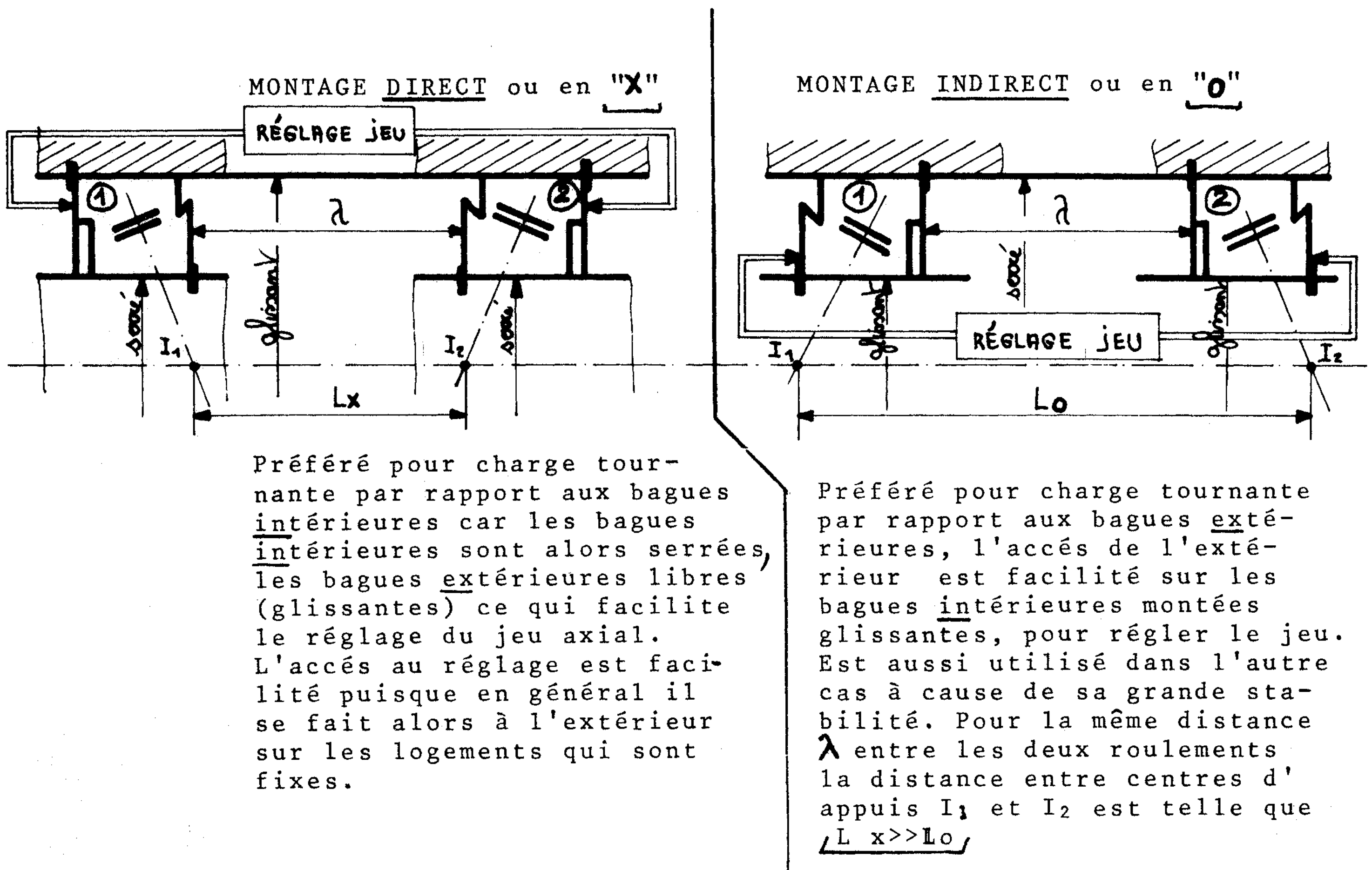
utiliser chaque roulement pour assurer l'arrêt axial dans un sens.



4223 - Montage de deux roulements à une rangée de billes à contacts obliques ou à rouleaux côniques.

Deux types de montages sont possibles:

- montage <u>direct</u> ou en "O"
- montage <u>indirect</u> ou en "X"



Préféré pour charge tournante par rapport aux bagues intérieures car les bagues intérieures sont alors serrées, les bagues extérieures libres (glissantes) ce qui facilite le réglage du jeu axial. L'accés au réglage est facilité puisque en général il se fait alors à l'extérieur sur les logements qui sont fixes.

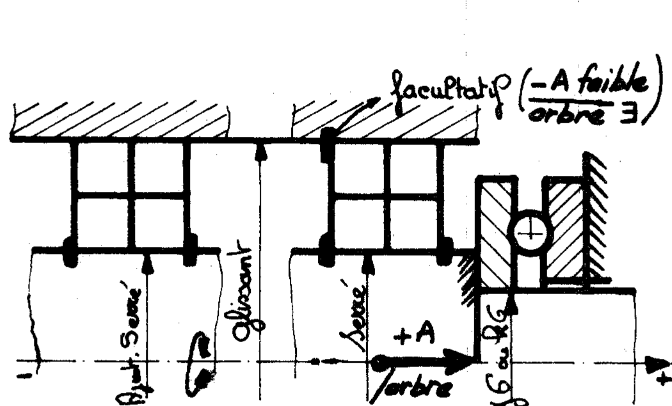
Préféré pour charge tournante par rapport aux bagues extérieures, l'accés de l'extérieur est facilité sur les bagues intérieures montées glissantes, pour régler le jeu. Est aussi utilisé dans l'autre cas à cause de sa grande stabilité. Pour la même distance λ entre les deux roulements la distance entre centres d'appuis I_1 et I_2 est telle que /$L_x >> L_o$/

Le réglage du jeu peut se faire:
- par cale ou clinquant
- par filetage à pas fin
- par ressort: rattrappage automatique du jeu:

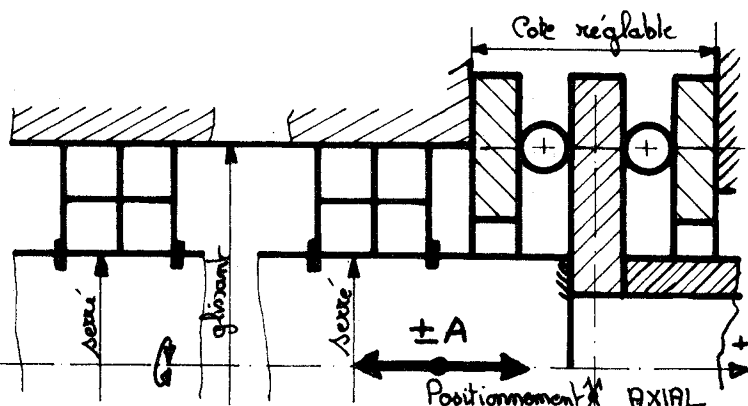
compensation automatique d'usure: le ressort ne doit alors en aucun cas supporter la charge axiale extérieure.

423- Montage des butées

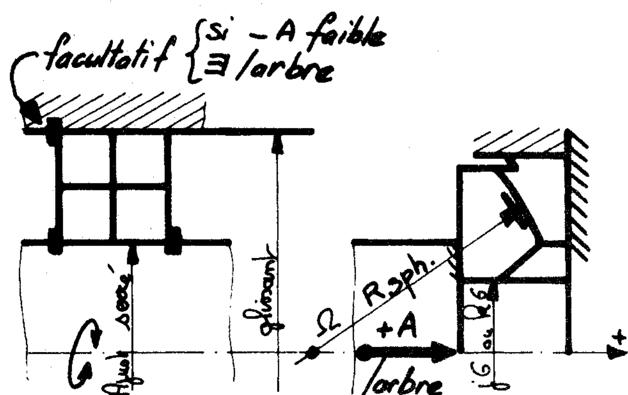
Une butée ne peut pas en général assurer le guidage en rotation de l'arbre (sauf cas de la butée à rotule sur rouleaux-tonneaux qui accepte des charges radiales) Elle doit donc être accompagnée de deux roulements associés de type radial. Ces roulements ne doivent en aucun cas empêcher le fonctionnement normal de la butée (arrêt axial uni- ou bilatéral). Dans le premier cas l'un des roulement peut alors assurer l'arrêt dans l'autre sens si la charge axiale est faible ou modérée.



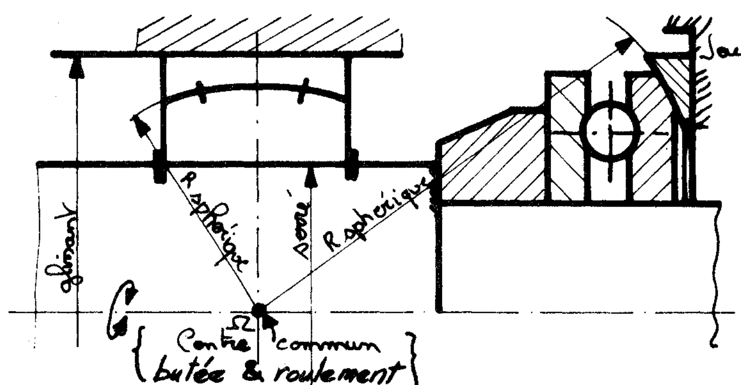
Montage d'une butée simple effet et de ses deux roulements associés



Montage d'une butée double effet et de ses deux roulements associés de type radial

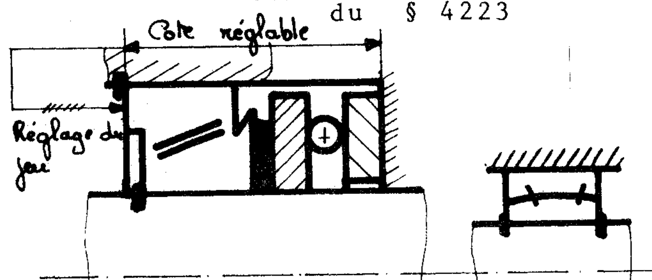


Association d'une butée à rotule sur rouleaux-tonneaux et d'un second roulement associé de type radial.

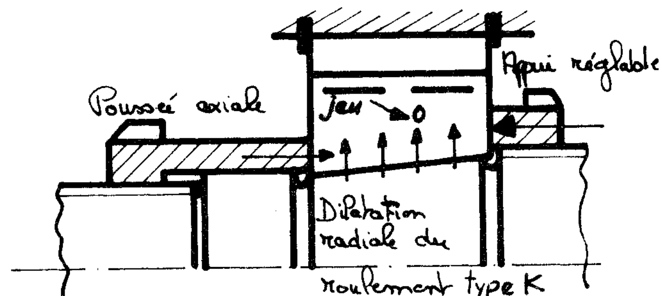


Association d'une butée à rotule à simple effet et d'un roulement à rotule à deux rangées de billes ou d'un roulement à rotule sur deux rangées de rouleaux-tonneaux

424 - Rattrapage du jeu dans les roulements autres que ceux du § 4223



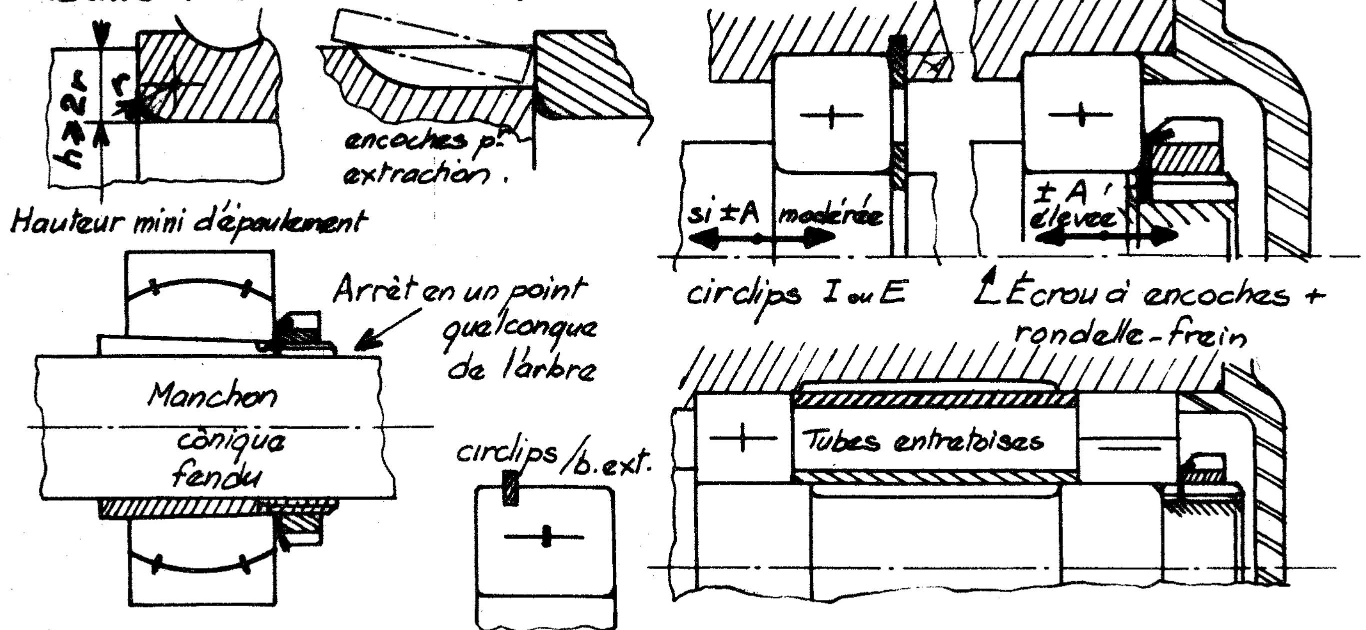
Rattrapage du jeu de guidage radial sur butée en appui.



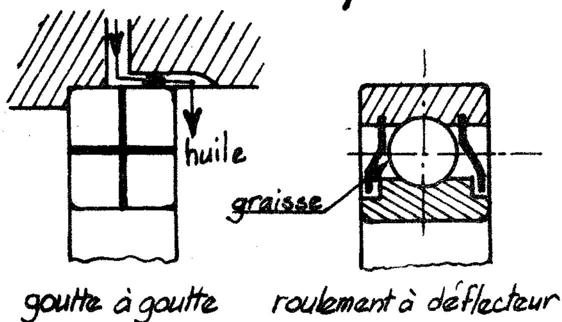
Réduction du jeu interne à un roulement à 2 rangées de rouleaux cylindriques.

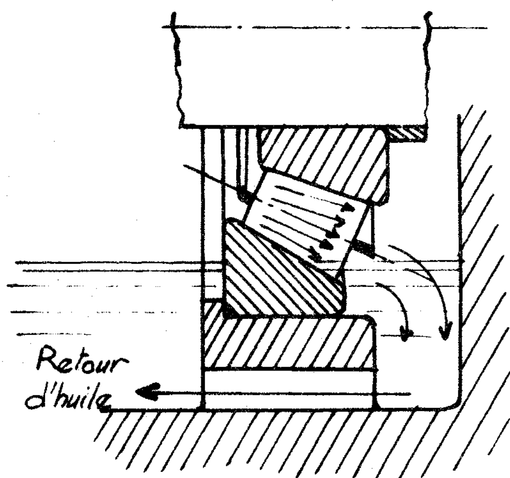
MONTAGE DES ROULEMENTS – 1

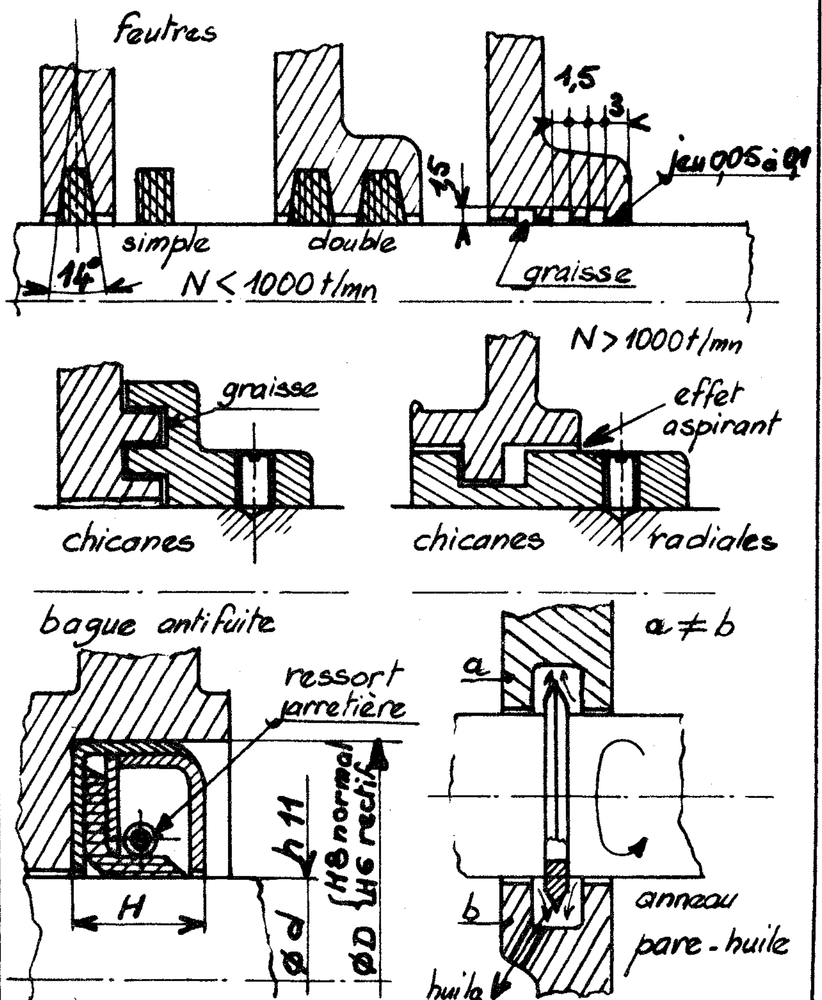
Réalisation de l'arrêt axial :



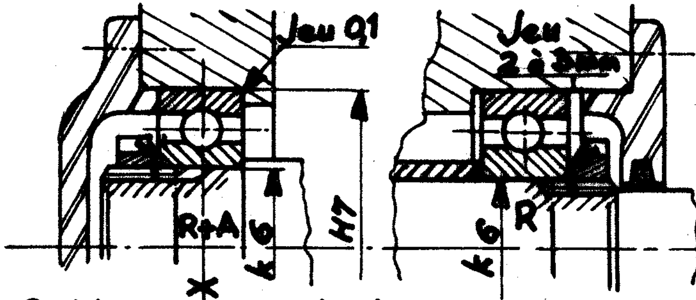
Lubrification et protection



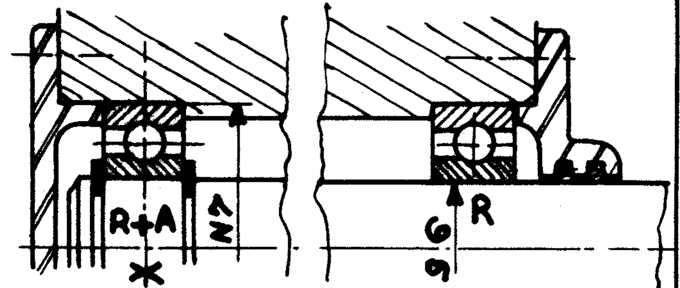




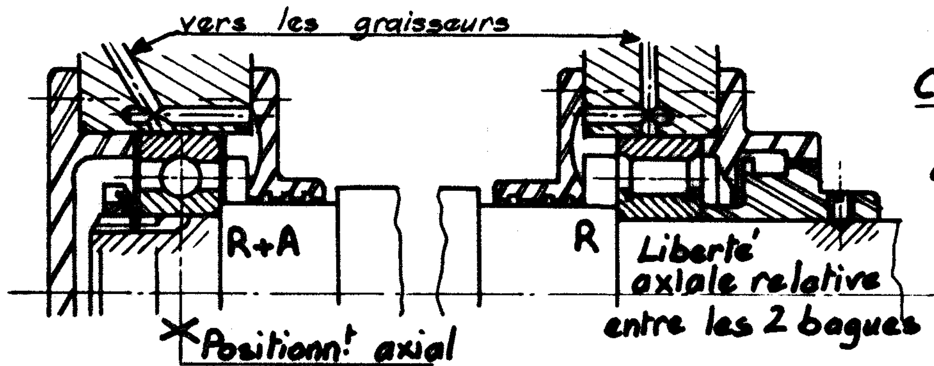
MONTAGE DES ROULEMENTS _ 2



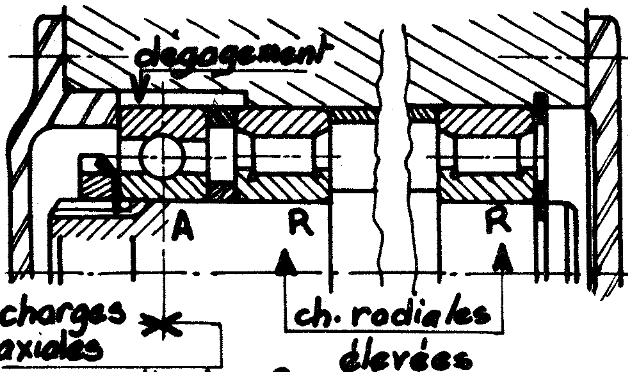
Positionnement axial arbre
Montage classique arbre tournant



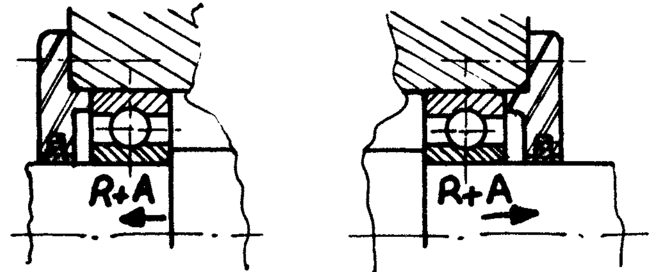
Positionnement axial
Montage classique arbre fixe



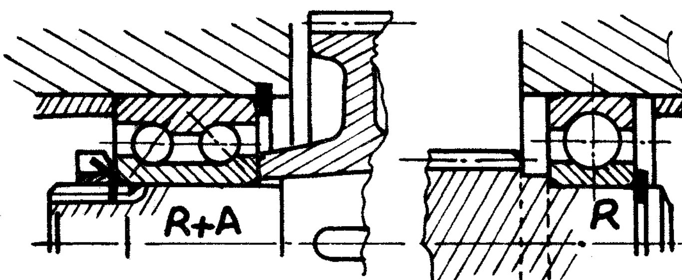
Cas particulier : 1
Association d'un roulement à billes avec un roulement à rouleaux cylindriques.



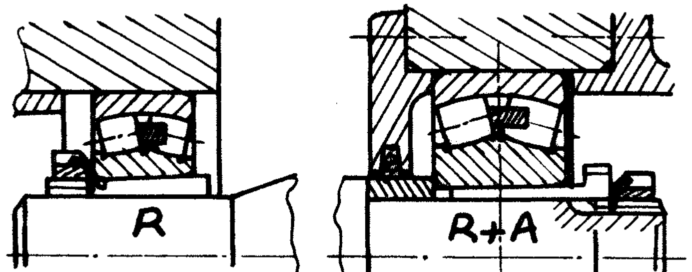
Cas particulier : 2



Cas particulier : 3 Montage économique
TRÈS MAUVAIS POUR FORTES CH. AXIALES



Positionnement axial arbre/bâti réalisé par le roulement à billes à double contact oblique.
VALABLE pour arbre peu fléchi

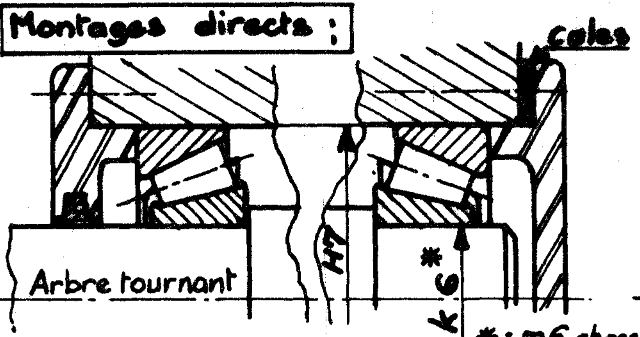


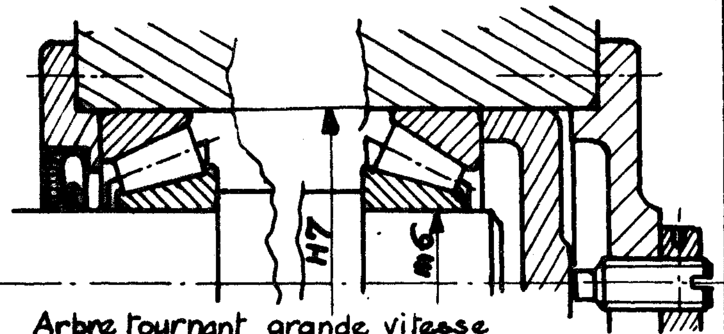
Arbre fléchi
Charges radiales élevées

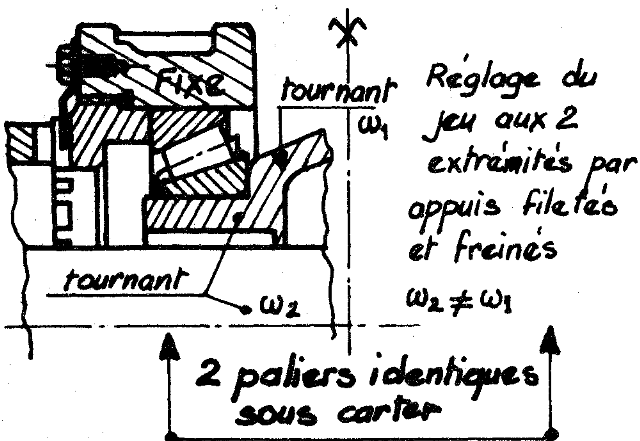
MONTAGE DES ROULEMENTS _ 3

A ROULEAUX CÔNIQUES

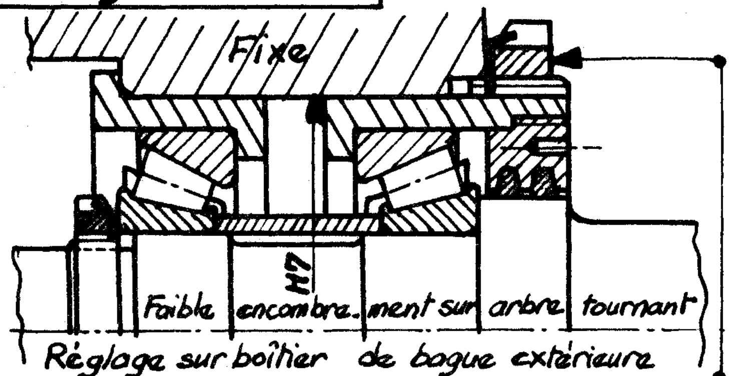
Montages directs :

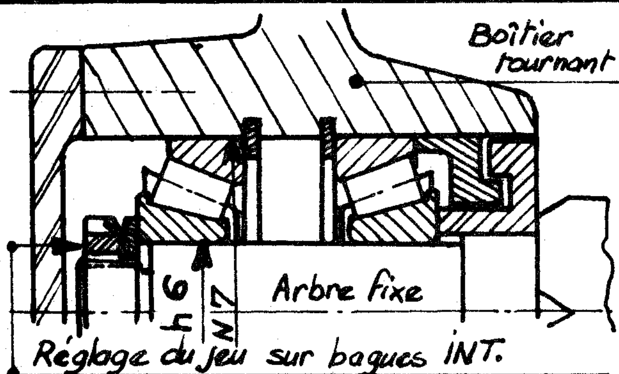


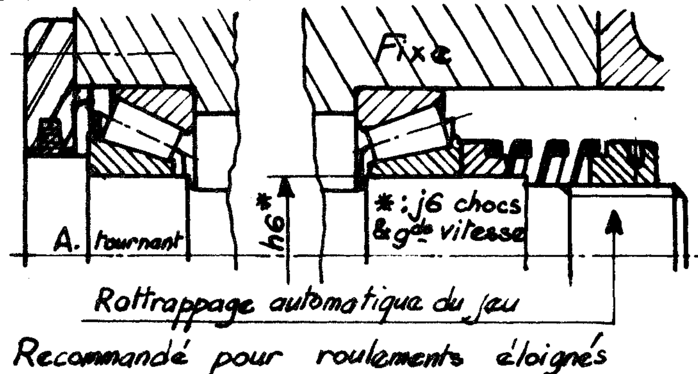




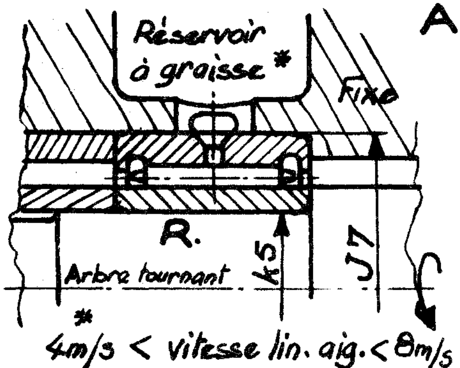
Montages indirects :

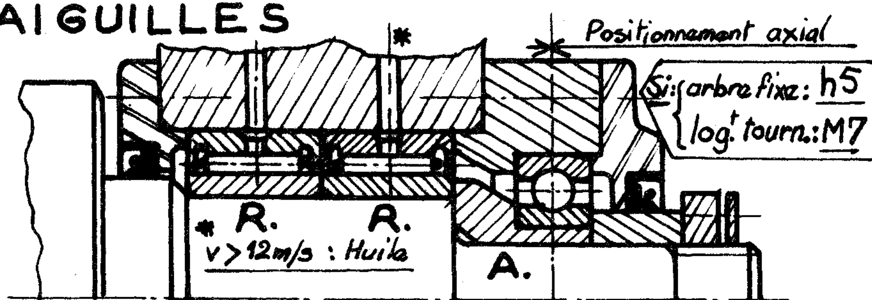






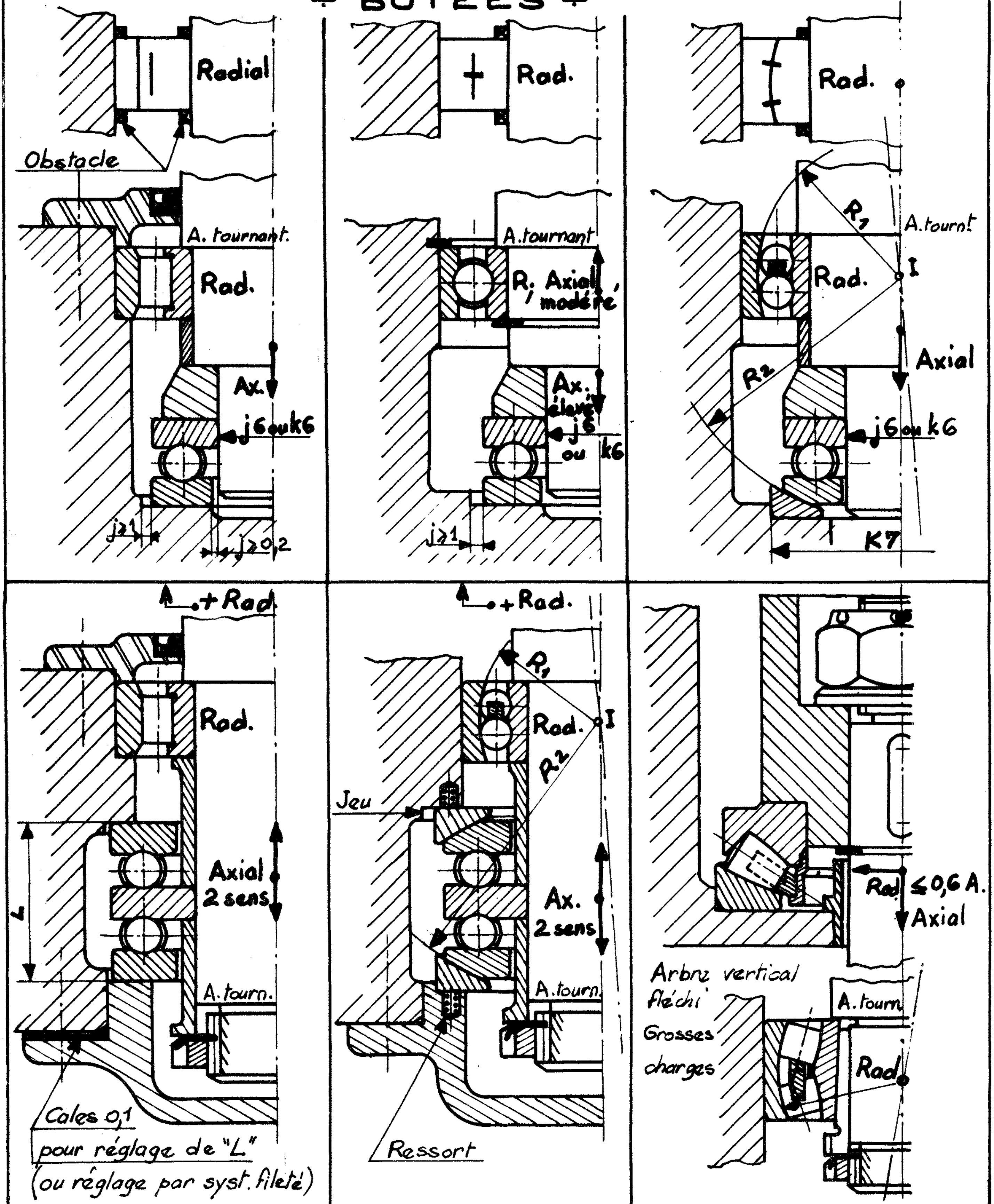
A AIGUILLES



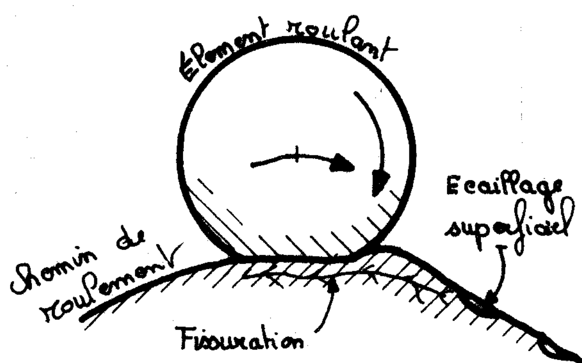


MONTAGE DES ROULEMENTS - 4

BUTÉES



VI - FATIQUE DES ROULEMENTS; DETERMINATION DE LEUR DUREE



La durée d'emploi d'un roulement est limitée par la détérioration des surfaces de roulement. En effet après des millions de compressions élastiques il apparaît un phénomène de fatigue du métal qui provoque la fissuration des chemins et des éléments roulants. Cette fissuration, due au cisaillement sous-jacent à la compression se propage vers la surface et finit par provoquer son écaillage.

Lorsque cet écaillage atteint un certain niveau appelé "critère dimensionnel de détérioration" le roulement est alors considéré comme inapte à un emploi normal. La valeur de ce critère est fixé par le constructeur : par exemple 6,5 mm^2 ($\emptyset \simeq$ 2,88mm) chez TIMKEN

Comme pour tout phénomène de fatigue l'apparition des signes de détérioration est liée à la valeur des contraintes locales donc des charges et de la conformation des roulements ainsi qu'au nombre de cycles de mise en charge donc au nombre de tours et à la vitesse si l'on veut définir une durée temporelle . Il est donc nécessaire de préciser le comportement du roulement vis à vis des charges qui lui sont appliquées.

Expérimentalement on peut mettre en évidence la relation suivante entre la charge P sur le roulement et la durée nominale appliquée à 90 % d'un lot de roulements identiques, exprimé en millions de tours.

$$L_N = \left(\frac{C}{P}\right)^{p}$$

L'exposant p vaut 3 pour un contact ponctuel

L'exposant " 4 " un contact linéaire

Ainsi dans un roulement, une butée et plus généralement un mécanisme à BILLES il faut prendre p = 3.

Pour un mécanisme à ROULEAUX, le contact passe du type ponctuel (à vide) au type linéaire intégral sous très forte charge à cause du bombé des rouleaux, nécessaire pour prévenir les surpressions d'extrémités(cf page 32). Il faut donc prendre p compris entre 3 et 4. En moyenne on adopte la valeur

$p = \frac{10}{3} = 3,33$ comme valeur moyenne correspondant à une durée décuplée pour une charge moitié. En effet on a

$$2^{10/3} = 10,0793684$$
$$\simeq 10$$

La constante C correspondant à une charge donnant une durée de L_N = 1 million de tours est appelée : CHARGE DE BASE DYNAMIQUE (ou CAPACITE..)

Sa valeur est liée intrinséquement à la conformation dimensionnelle et structurelle du roulement.

Par exemple pour un roulement à billes on a:cf.PALMGREN p 77+

$$C = f_c\ (i\cos\ \alpha)^{0,7}.\ Z^{2/3} f(d_b)$$

avec fc: est un coefficient complexe lié au matériau, au type et aux dimensions de roulement.

i= nombre de rangée de billes (ex avec i= 2 rangées on a $C_2 = 2^{0,7}\ C_1 = 1,624 C_1$)

α= angle de contact du roulement.

Z= nombre de billes

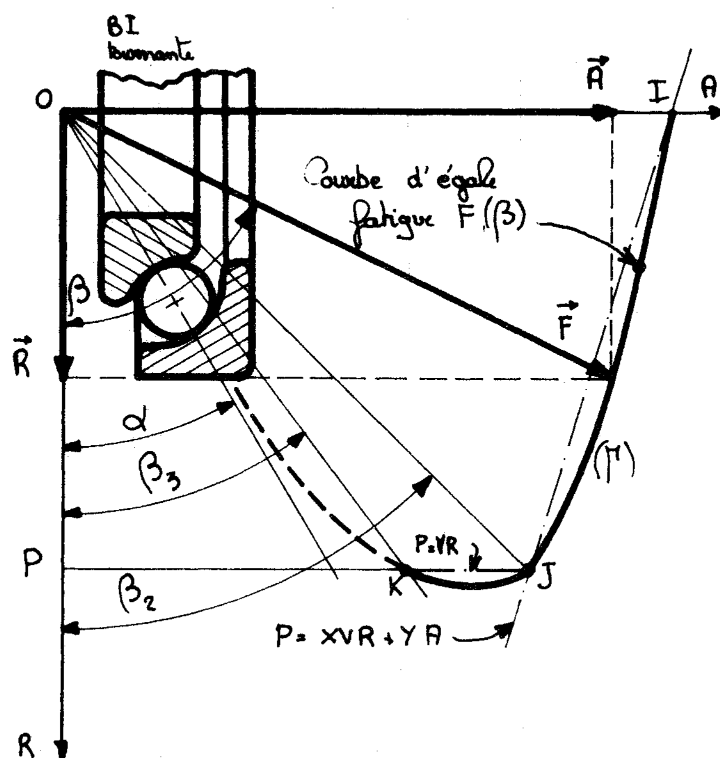
f(db) une fonction du diamètre des billes:db, exprimée par: $\begin{cases} f(db) = db^{1,8} \text{ si } db \leqslant 25,4\text{mm} = 1'' \\ f(db) = 3,647 db^{1,4} \text{ si } db > 25,4\text{mm} \end{cases}$

On appelle charge équivalente une charge fictive, constante en direction, sens et intensité tournante par rapport à la BI, fixe par rapport à BE, purement radiale pour un roulement, purement axiale pour une butée qui donnerait la même durée L_N que la charge réelle appliquée $\vec{F} = \vec{R} + \vec{A}$.(cf.§ calcul des Roulements)

Le problème est donc de relier la charge équivalente P aux charges réelles axiales et radiales représentant les composantes de la force $\vec{F}$.

Prenons l'exemple d'un roulement à une rangée de billes à contact oblique (angle de contact α)

La répartition des charges sur les billes de ce type de roulement a été exposée page 27 lorsque la direction de la charge $\vec{F}$, définie par l'angle β varie, la charge maximale sur les éléments roulants, l'étendue de la zône de charge, ainsi que la répartition de la charge dans cette zône varient également comme on l'a vu.



Il en résulte une modification de l'endurance du roulement à la fatigue. On peut à partir de la théorie de la capacité de base dynamique déterminer les charges $\vec{F}$ de toutes directions qui donnent la même durée au roulement et tracer un diagramme polaire F = fonc.(β) avec $\alpha \leq \beta \leq 90°$ qui représente la courbe (Γ) d'EGALE FATIGUE du roulement.

Pour obtenir une relation simple entre P, A et R on peut remplacer la courbe d'égale fatigue par deux segments de droites tels que :

IJ défini par l'équation
$$XVR + YA = P$$
JK défini par l'équation
$$P = R \text{ (horizontale)}$$

Le point I correspond à l'intersection de (Γ) avec l'axe des charges axiales A : il correspond au cas où la charge $\vec{F}$ est purement axiale (R= 0) et alors P = YA.

Le point J correspond à un angle de charge β_2 tel que $tg\beta_2 = 1,5\ tg\alpha$ soit: $\frac{A}{R} = 1,5 tg\alpha$ (ou $A = 1,5\ R.tg\alpha$).

La quantité 1,5 tgα correspond au discriminant [e] du roulement (valeur de séparation entre les deux modes de calcul P.

Le point K correspond à un angle de charge β_3 tel que la force $\vec{F}$ charge la demi-circonférence des chemins de roulement
-C'est le cas lorsque

$\theta_{lim} = 90° \triangleq$
- $tg\beta_3 = \frac{A}{R} = 1,22\ tg\alpha$ pour les roulements à billes — $[A_i = R.tg\beta_3]$ charge axiale induite
- $tg\beta_3 = \frac{A}{R} = 1,26 tg\alpha$ pour des roulements à rouleaux

montage en opposition "O" ou "X" tel que le jeu est nul axialement

La charge équivalente P est la composante radiale de la force F qui agit sous l'angle de charge β_s.(jeu axial nul). Si le montage est prévu sans précharge donc avec un certain jeu l'angle β est inférieur à β_s, mais toujours supérieur à l'angle de contact α.

N.B Dans le cas d'un roulement rigide à billes(gorges profondes) l'angle de contact α varie avec la direction de la charge $\vec{F}$. Dans ce cas tgα est fonction principalement de Fa et les coefficients X et Y sont variables selon l'importance de la composante axiale.

En résumé on a :

$$P = VR \text{ pour } \frac{A}{VR} \leqslant 1,5 \text{ tg}\alpha = e$$

$$P = VRX + YA \text{ pour } \frac{A}{VR} > 1,5 \text{ tg}\alpha = e$$

V coefficient de rotation
V=1 si F tourne /BI
V=1,05 si F tourne /BE

X est appelé coefficient radial du roulement

Y est appelé coefficient axial du roulement

Le coefficient Y donne le rapport entre les capacités de charge axiale et radiale d'un roulement.

Pour les roulements avec angle de contact constant on a

$$\boxed{Y = \frac{0,4 \cdot \cot\alpha}{\eta}}$$

et comme pour $\frac{A}{R} = 1,5$ tgα on a P=R=XR+YA il vient:

$$R = R(X+Y.\frac{A}{R}) = R(X+1,5\,Y.\text{tg}\alpha) \text{ soit } 1 = X+1,5Y \text{ tg}\alpha$$

d'où

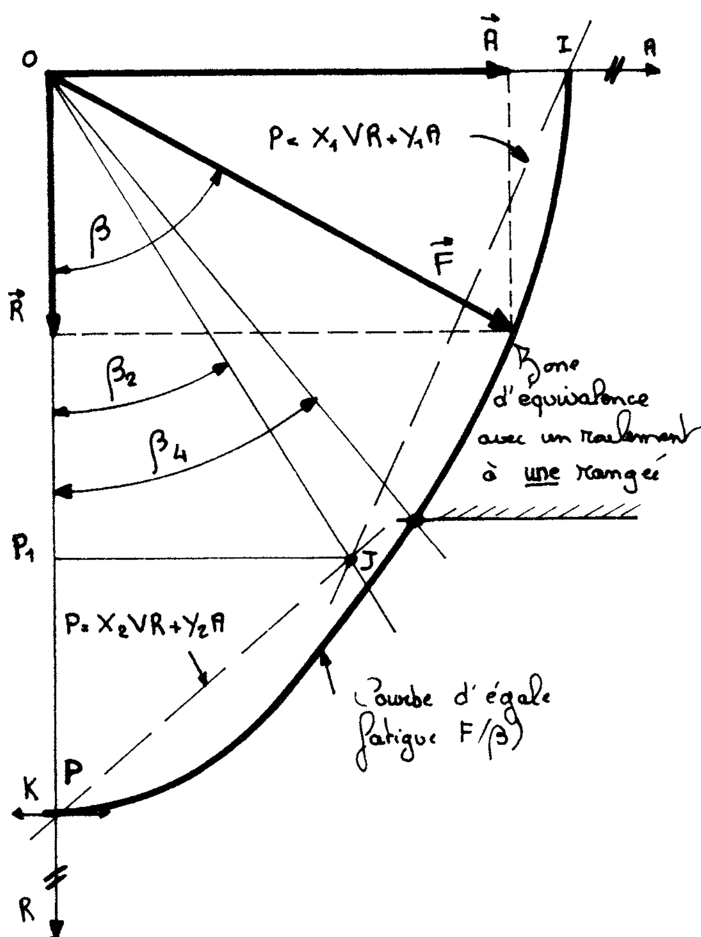
$$\boxed{X = 1 - \frac{0,6}{\eta}}$$

avec η:facteur de réduction de la capacité de charge axiale:

égal à $\boxed{\eta = 1 - k.\sin\alpha}$ En fait ce coefficient est pratiquement égal à 1 pour des angles faibles(roulements proprement dits et ne devient déterminant que pour α voisin de 90°: cas des butées). Valeur de k :

$k = \frac{1}{3}$ pour butées à billes; k=0,15 pour butées à rouleaux

Dans le cas d'un roulement à deux rangées de billes à contact oblique la charge $\vec{F}$ peut prendre n'importe quelle direction;



($0 \leqslant \beta \leqslant 90°$). La courbe (Γ) d'égale fatigue est alors monotone.

Si une charge purement radiale agit sur le roulement, alors $\beta = 0$ et on définit un nouveau point K tel que P = R.

Si l'angle de charge β croit, la longueur de la zone de charge augmente dans une rangée, tandis qu' elle diminue dans l'autre. Lorsque l'angle de charge atteint une certaine valeur β_4 telle que :

$$tg\beta_4 = \frac{A}{R} = 1{,}67\ tg\ \alpha \quad \text{pour les roulements billes}$$

$$tg\beta_4 = \frac{A}{R} = 1{,}91\ tg\ \alpha \quad \text{pour les roulements rouleaux}$$

La charge devient nulle dans l' une des rangées.

Donc pour $\beta \geqslant \beta_4$ et jusqu'à 90° le roulement est équivalent au roulement à une rangée correspondant. On peut donc remplacer la courbe (Γ) par la même droite IJ que précédemment. Au delà on la remplace par le segment de droite JK.

Le point J est déterminé par le même angle β_2 que précédemment tel que

$$tg\beta_2 = \frac{A}{R} = 1{,}5\ tg\alpha = e \quad \text{(discriminant)}$$

En résumé on a:

$$P = X_1VR + Y_1 . A \quad \text{pour} \quad \frac{A}{VR} \geqslant 1{,}5\ tg\alpha = e$$

$$P = X_2VR + Y_2A \quad \text{pour} \quad \frac{A}{VR} < 1{,}5\ tg\alpha = e$$

Pour la zone IJ le comportement étant le même que pour un roulement à une rangée le rapport des capacités de base dynamique est égal à i^m (cf p58 ; PALMGREN p.77 et 78.)

avec ici i = 2 et $m = 0,7$ dans le cas des roulements à billes.
(2 rangées) $m = 7/9$ " " " " rouleaux.
[$m \neq 0,778$]

Posons alors $\begin{cases} f = 2^{0,7} \text{ ou } 2^{7/9} \text{ soit} \\ f = 1,624 \text{ ou } 1,715 \end{cases}$ il vient : si X et Y désignent les coefficients radial et axial du roulement à une rangée correspondant :

$$\boxed{X_1 = f.X} \quad \text{et} \quad \boxed{Y_1 = f.Y}$$

Quant à X_2 et Y_2 on a :

$$\boxed{X_2 = 1} \quad \text{et} \quad \boxed{Y_2 = Y_1 - \frac{1 - X_1}{1,5} \operatorname{cotg}\alpha}$$

d'où certains éclairages sur la méthode de calcul des roulements.

DOC : Durée d'un ensemble de roulements : L_N $\boxed{\left(\frac{1}{L_N}\right)^e = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{1}{L_{Ni}}\right)^e}$

(par ex: d'une boite de vitesse)

avec l'exposant de dispersion $\begin{cases} e = \frac{10}{9} \text{ billes} \\ e = \frac{9}{8} \text{ rouleaux} \end{cases}$ *e=1,12 en moyenne*